

文章编号 10258-7106 (2009) 05-0558-11

# 新疆西天山查汗萨拉金矿地质、金赋存状态 及同位素地球化学研究\*

罗小平<sup>1</sup>, 薛春纪<sup>1</sup>, 李怀祥<sup>1</sup>, 冯京<sup>2</sup>, 张兵<sup>3</sup>

(1 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 新疆地质矿产  
勘查开发局, 新疆 乌鲁木齐 830000; 3 新疆地质矿产勘查开发局第七地质大队, 新疆 乌苏 833000)

**摘 要** 查汗萨拉金矿是近年在新疆西天山新发现的一处金矿床, 处于依连哈比尔尕构造带西端。矿体呈不规则脉状产于细晶闪长岩构造破碎蚀变带及其接触带附近的上石炭统奇尔古斯套组蚀变围岩中, 围岩蚀变较弱。矿石中硫化物主要为黄铁矿, 并含少量磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等。硫化物矿物呈自形粗晶或半自形结构, 斑杂状分布在构造蚀变岩石中。金矿物以自然金和银金矿为主, 还发现有硫(碲)银金矿和金铀化物等独特矿化线索, 金矿物多赋存在黄铁矿中, 以包体金、裂隙金和少量粒间金形式存在。金矿物形态以粒状和长角状为主, 多为细、微细粒金(粒度 $<10\ \mu\text{m}$ )。矿石中矿物流体包裹体均一温度为 $220\sim 340^\circ\text{C}$ 。热液脉石矿物石英流体包裹体的 $\delta\text{D}$ 为 $-92\text{‰}\sim -74\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $11.8\text{‰}\sim 12.6\text{‰}$ , 成矿流体显示岩浆热液和变质建造水混合的特征。热液方解石脉的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 为 $-8.92\text{‰}\sim -8.06\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $13.45\text{‰}\sim 17.18\text{‰}$ , 反映成矿流体中 $\text{CO}_2$ 主体来源于岩浆。硫化物 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $18.036\sim 18.173$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.536\sim 15.612$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $37.940\sim 38.097$ , 成矿金属具岩浆来源特征。矿石中硫化物 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 为 $-9.8\text{‰}\sim -7.3\text{‰}$ , 显示其可能与地层有关。查汗萨拉金矿为构造蚀变岩型中温岩浆热液矿床, 不同于本区阿希金矿, 是西天山金矿勘查中值得关注的新类型。

**关键词** 地质学, 金赋存状态, 同位素地球化学, 查汗萨拉金矿, 新疆西天山

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

## Geology, mode of occurrence of gold and isotopic geochemistry of Chahansala gold deposit in West Tianshan, Xinjiang

LUO XiaoPing<sup>1</sup>, XUE ChunJi<sup>1</sup>, LI HuaiXiang<sup>1</sup>, FENG Jing<sup>2</sup> and ZHANG Bing<sup>3</sup>

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Faculty of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830000, Xinjiang, China;  
3 No.7 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Wusu 833000, Xinjiang, China)

### Abstract

The Chahansala gold deposit, a newly discovered gold deposit in West Tianshan, is located at the west edge of the Late Paleozoic Yilianhabi'erga arc-trench belt. Ore bodies are in the form of irregular veins and mainly occur in the shatter zone of fine-grained diorite that has intruded in the Upper Carboniferous tuffaceous siltstone and subordinately exist in the contact zone, with weak wall rock alteration. The sulfide minerals are mainly pyrite and subordinately pyrrhotite, chalcopyrite and galena, assuming euhedral and subhedral crystals in the ore and displaying taxitic structure in the structural alteration rock. Gold is most commonly present as native

\* 本文得到国家科技支撑计划(2006BAB07B01-02)、高等学校学科创新引智计划(B07011)及长江学者和创新团队计划(IRT0755)的联合资助

第一作者简介 罗小平, 男, 1984 年生, 在读硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。

通讯作者 薛春纪, 男, 1962 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 矿床学、矿产普查与勘探专业, Email: chunji.xue@cugb.edu.cn

收稿日期 2009-03-19; 改回日期 2009-04-28; 李岩编辑。

gold and electrum, with gold-bearing sulfides, gold-sulfides (Te) and Au-U minerals also observed. The distribution of gold in ores is uneven: gold mainly assumes relatively fine grains occurring as fracture gold and encapsulated gold in pyrite, and less commonly exists as intergranular gold between pyrite and vein mineral or as encapsulated gold in pyrrhotite, constituting fine-grained dissemination (within 10  $\mu\text{m}$ ). Gold minerals have varied shapes, mostly assuming granular and long angular forms. Studies of fluid inclusions in some gangue minerals show that temperatures of the ore-forming fluids are 220~340 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\delta\text{D}$  values of the hydrothermal gangue mineral quartz are  $-92\text{‰} \sim -74\text{‰}$ , the  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  are 11.8 $\text{‰} \sim 12.6\text{‰}$ , suggesting that ore-forming fluids are made up of magmatic water and formational water.  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  values of the hydrothermal gangue mineral calcite are  $-8.92\text{‰} \sim -8.06\text{‰}$ , and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  values are 13.45 $\text{‰} \sim 17.18\text{‰}$ , implying that  $\text{CO}_2$  in the ore-forming fluids was mainly derived from the mantle-derived carbon. The  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  of ore sulfides are 18.036~18.173,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  are 15.536~15.612, and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  are 37.940~38.097, indicating that the ore metals were derived from the magma. The  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$  of sulfides are  $-9.8\text{‰} \sim -7.3\text{‰}$ , suggesting that the mineralization  $\text{H}_2\text{S}$  resulted from the crust. The Chahansala gold deposit is a tensile structural alteration type deposit formed by the structure-magma-hydrothermal process during the extension at the end of the orogenic movement. The Chahansala gold deposit is genetically different from the A'xi gold deposit in the same area, and this new type of gold deposit in West Tianshan should deserve much attention.

**Key words:** geology, mode of occurrence of gold, isotopic geochemistry, Chahansala gold deposit, West Tianshan Mountain

新疆西天山地区自 20 世纪 90 年代阿希金矿发现以来, 金矿勘查和研究受到了多方的关注(沙德铭,1998;沙德铭等, 2003;隗合明等,1999;汪核等,2002;汪有标等,2006;张良臣等,2006;陈炳蔚等,2007)。查汗萨拉金矿是近年在西天山依连哈比尔尕构造带西端新发现的金矿床,矿床前景良好(冯京等,2008)。本文试图以认识成矿区域背景为基础,揭示矿床地质特征,查明矿石中金矿物及其赋存形式,通过 H、O、C、S、Pb 同位素示踪成矿物质来源,确定矿床成因类型,为西天山金矿进一步勘查和研究提供参考。

1 区域地质

查汗萨拉金矿床位于新疆精河县东南 60 km 处,其大地构造位置处于哈萨克斯坦-准噶尔板块南缘的伊犁-伊塞克湖微板块的依连哈比尔尕晚古生代沟弧带西端,北接同一板块中的巴尔喀什-准噶尔微板块,南邻赛里木地块和博罗霍洛古生代复合岛弧带,西近阿拉套陆缘构造带(张良臣等,2006;陈毓川等,2007)(图 1)。该区 NW 向构造发育,查汗萨拉深大

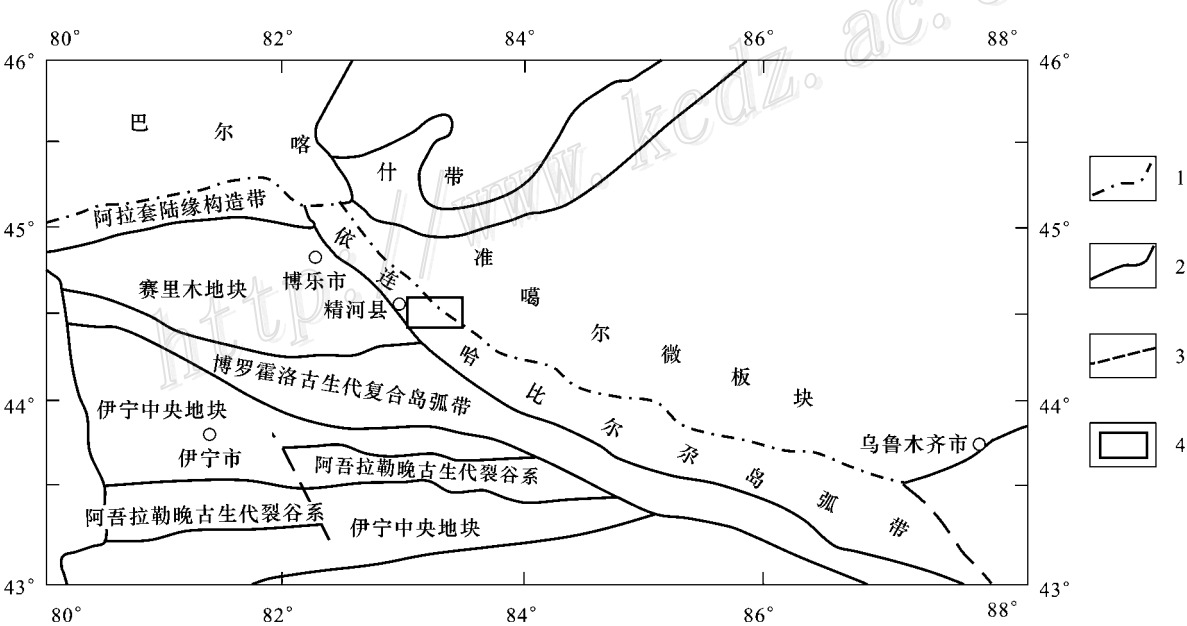


图 1 西天山大地构造单元示意图和研究区所处位置(据张良臣等,2006)  
1—构造单元边界;2—次级构造单元边界;3—断裂带;4—研究区

Fig. 1 Diagrammatic map showing geotectonic units of west Tianshan and location of the study area( after Zhang et al. ,2006 )  
1—Boundary of tectonic unit ;2—Boundary of secondary tectonic unit ;3—Fault zone ;4—Study area

断裂是区内构造形迹显著的造山带大型断裂带,产状复杂、变化大,总体南倾,挤压性质明显,这条断裂带对该区域晚古生界分布、基性火山岩喷发及区域构造格局具有明显的控制作用,该区 NE 向断裂明显,多为应力转换期张性断层。2 组断裂交汇地区控制了中酸性岩株和岩脉的分布。

区域地层主要为上石炭统奇尔古斯套组,其走向北西、倾向南西,由粉砂岩、硅质岩夹长石砂岩和凝灰岩构成。沿查汗萨拉断裂构造带发育上石炭统沙大王组构造片岩,岩性为一套深海相蛇绿混杂堆积岩、灰黑色玄武质角砾凝灰岩、硅质粉砂岩及硅质岩组合。晚石炭世-早二叠世岩浆侵入形成众多岩株和岩脉(据朱志新等,2006),以查汗萨拉深大断裂为界,北侧发育多期次的细晶闪长岩脉,南侧则发育黑云母二长花岗岩、黑云母斜长花岗岩、花岗岩岩株和岩脉(图 2)。

2 矿床地质

以北西走向的查汗萨拉断裂为界,查汗萨拉金矿区南西侧出露沙大王组蛇绿混杂堆积岩、粉砂岩、硅质岩和玄武岩地

层,北东侧大面积出露奇尔古斯套组海相碎屑岩建造。矿区内奇尔古斯套组主要为灰黑色粉砂岩、浅灰绿色硅质粉砂岩、灰黑色凝灰质粉砂岩,地层总体南倾,倾角 50~80°。奇尔古斯套组上部为硅质条带凝灰质粉砂岩、灰黑色凝灰质粉砂岩,是金矿化细晶闪长岩侵入和金矿体赋存的重要层位。

细晶闪长岩脉近东西走向侵入于矿区奇尔古斯套组上部凝灰质粉砂岩层中,倾向北北东,倾角 40~70°,长度大于 2 500 m,宽 10~100 m,贯穿整个矿区(图 3)。在细晶闪长岩脉的边部常可见到奇尔古斯套组凝灰质粉砂岩的角砾状捕掳体,岩体附近地层角砾化明显,岩体与地层的接触界线多不规则,岩体沿地层中张性构造侵入的特点明显。细晶闪长岩主要由中长石、更长石和角闪石组成,长石多发生绢云母化和高岭土化,角闪石富铁,常发生氧化、分解形成赤铁矿。

查汗萨拉金矿体呈脉状分布于细晶闪长岩内,少部分产在其接触带附近的围岩中。矿化带北西走向,长 1.67 km,宽 20~80 m,由于晚期北西向断裂和第四系冲积物覆盖影响,地表可划分出 I、II、III 等多个矿段(图 3),其中 II 号矿段已经投入试采。矿带向北西和南东 2 个方向延伸,尚未尖

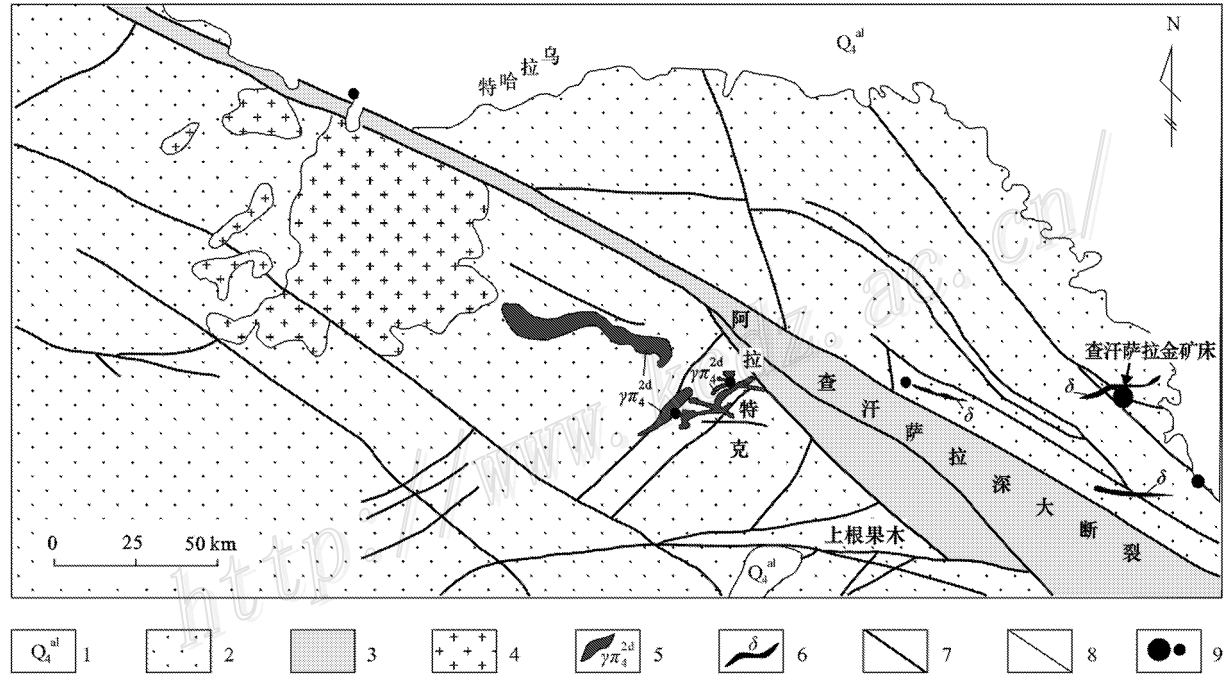


图 2 新疆西天山查汗萨拉金矿区域地质矿产图(据新疆第七地质大队资料<sup>①</sup>修绘)

- 1—第四系冲积物;2—上石炭统奇尔古斯套组凝灰质泥质粉砂岩;3—上石炭统沙大王组蛇绿混杂堆积岩;4—黑云母二长花岗岩;  
5—花岗斑岩;6—闪长岩;7—断层;8—地质界线;9—金矿床/金矿点

Fig. 2 Geological and mineral resources map of the Chahansala gold ore district (modified after No. 7 Geological Party of Xinjiang)  
1—Quaternary; 2—Tuffaceous and muddy siltstone of Upper Carboniferous Qi 'ergusitao Formation; 3—Ophiolite melange of Upper Carboniferous Shadawang Formation; 4—Biotite adamellite; 5—Granite porphyry; 6—Diorite; 7—Fault; 8—Geological boundary; 9—Gold deposit/spot

① 新疆第七地质大队. 2007. 新疆乌苏市查汗萨拉金矿普查项目总体设计和 2007 年工作方案. 内部资料.

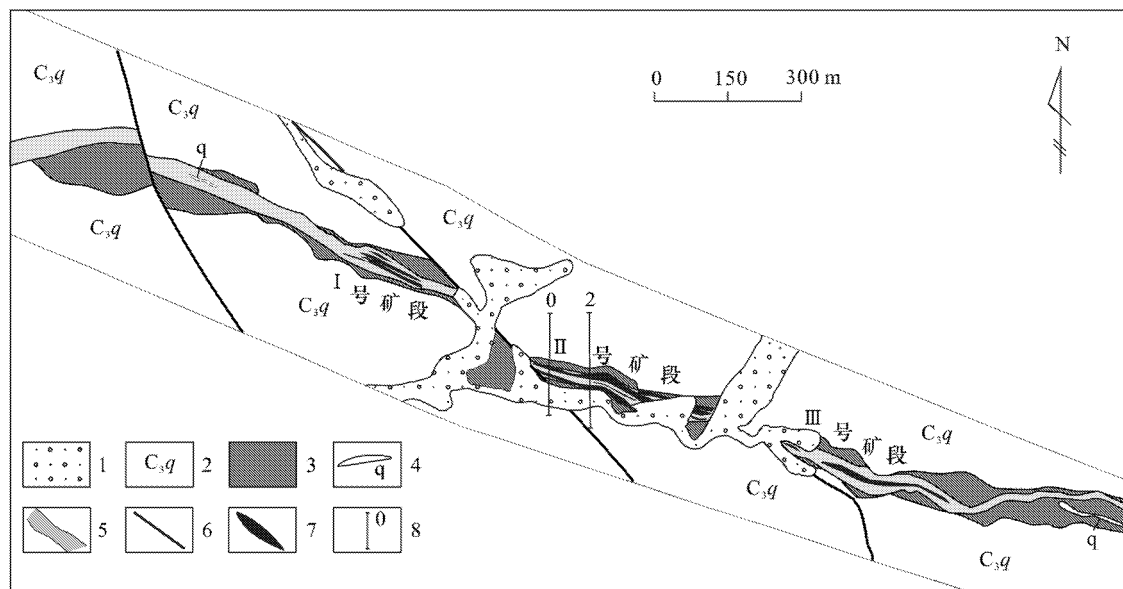


图3 新疆西天山查汗萨拉金矿地质简图(据新疆第七地质大队资料<sup>①</sup>修绘)

1—第四系冲积物;2—凝灰质粉砂岩;3—细晶闪长岩;4—石英脉;5—构造破碎带;6—断层;7—金矿体;8—勘探线

Fig. 3 Simplified geological map of the Chahansala gold deposit, west Tianshan, Xinjiang

1—Quaternary alluvium; 2—Tuffaceous siltstone; 3—Diorite; 4—Quartz vein; 5—Breccia zone; 6—Fault; 7—Gold ore body; 8—Exploration line

灭,勘探工作正在进行中。

各矿段内金矿体多有出露,地表圈定金矿体19个。矿体呈脉状,产在细晶闪长岩脉的中上部张性构造破碎带内,走向 $280^{\circ}\sim 290^{\circ}$ ,倾向北东,倾角 $51^{\circ}\sim 72^{\circ}$ 。矿体倾向与细晶闪长岩岩体一致,与奇尔古斯套组地层相反。单矿体长度 $14\sim 294\text{ m}$ ,厚度 $0.89\sim 8.26\text{ m}$ ,延深稳定(图4)。

矿体由细晶闪长岩及围岩凝灰质粉砂岩经多阶段构造角砾化和硅化、绢云母化热液蚀变共同作用形成。矿体中的角砾包括凝灰质粉砂岩和细晶闪长岩,它们呈棱角状,大小混杂,凝灰质粉砂岩角砾的胶结物既可以是细晶闪长岩,也可是含金热液硫化物石英网脉,细晶闪长岩角砾的胶结物为含金热液硫化物石英网脉。矿石自然类型为含金构造角砾蚀变岩(图5),原生金属矿物为赤铁矿和黄铁矿。金属矿物占 $5\%\sim 17\%$ ,主要是黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿。赤铁矿主要由细晶闪长岩中富铁角闪石氧化、分解形成,呈交代假象结构,硫化物占 $1\%\sim 2\%$ ,以黄铁矿为主,还有磁黄铁矿、黄铜矿和方铅矿等。黄铁矿等硫化物呈斑杂状分布在矿石中,具有自形粗晶结构,磁黄铁矿与黄铁矿共生,在它们粒间或内部裂隙中可见充填或交代形成的他形微晶黄铜矿,磁黄铁矿晶体内部有方铅矿他形微晶产出。矿石矿物为自然金、银金矿、硫(碲)银金矿等微细微量矿物,金平均品位 $3.74\text{ g/t}$ 。脉石矿物为中长石、更长石、角闪石、绢云母和少量石英、方解石。

金矿石富集在细晶闪长岩体内的构造角砾带及围岩凝

灰质细碎屑岩中。矿体和矿石中常见棱角状凝灰质粉砂岩和粉砂泥岩角砾杂乱分布在细晶闪长岩中(图5A),其中角砾的角岩化明显并发生硅化和弱黄铁矿化,闪长岩(胶结物)发生绢云母化、硅化和(富铁角闪石的)赤铁矿化(红色)。全岩金矿化形成含围岩角砾的细晶闪长岩(图5B),矿体中常观察到含围岩角砾的细晶闪长岩二次构造碎裂并被含金热液石英细网脉胶结(图5C)。全岩具面型硅化、绢云母化、赤铁矿化和斑杂状分布的黄铁矿化。矿石中方解石脉穿切石英闪长岩成网脉状,基本未见硫化物矿化,为矿化晚阶段产物。早阶段张性构造-岩浆作用和晚阶段持续的张性构造-热液作用很可能是金矿化富集的基本地质过程。

黄铁矿自形程度高,多为立方体晶形,被褐铁矿交代成细小团块状、残余状斑杂或嵌布在褐铁矿空洞边缘或脉石中(图6A)。黄铁矿是矿石中最重要的载金金属矿物,镜下观察黄铁矿可分为2个世代:第I世代为较粗的自形-半自形粒状黄铁矿,粒径约 $0.15\text{ mm}$ ,多已被压碎,中间全为褐铁矿细脉所充填,并常被褐铁矿交代形成残余状;第II世代黄铁矿多呈自形-半自形粒状,粒径约 $0.5\text{ mm}$ ,晶形保存较完整。总体上,黄铁矿结晶良好,晶形多为立方体,少见五角十二面体和聚形。

磁黄铁矿分布微量,常与黄铜矿伴生,扫描电镜下可见黄铜矿沿磁黄铁矿微裂隙以微小链珠状分布,呈不规则他形结构(图6B),黄铜矿微细脉形态不规则,边界不平直,是黄铜矿沿微裂隙或粒间交代磁黄铁矿的结果。

① 新疆第七地质大队, 2007. 新疆乌苏市查汗萨拉金矿普查项目总体设计和2007年工作方案. 内部资料.

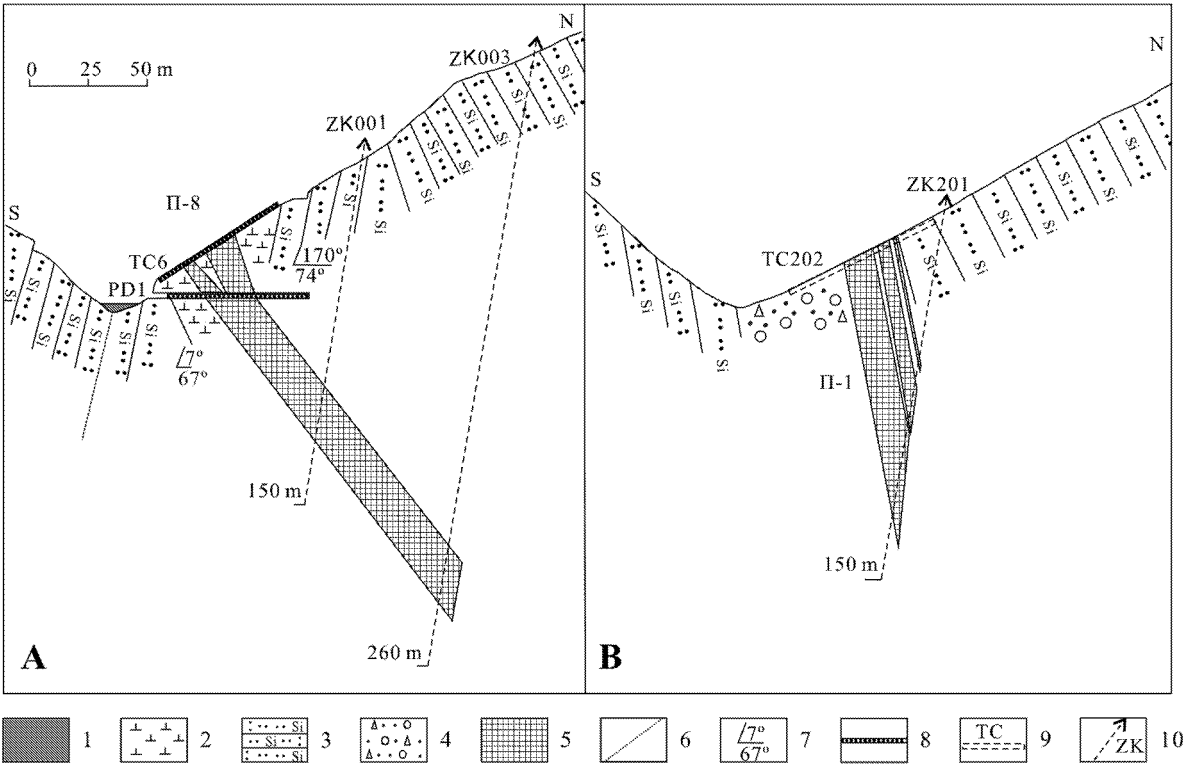


图 4 新疆西天山查汗萨拉金矿区 0 勘探线 (A) 和 2 勘探线 (B) 剖面图 (据新疆第七地质大队资料<sup>①</sup>修绘)

1—第四系冲积物;2—闪长岩;3—上石炭统奇尔古斯套组凝灰质硅化粉砂岩;4—含角砾砂砾岩;5—金矿体;6—蚀变界线;7—产状;  
8—采样位置;9—探槽;10—钻孔

Fig. 4 Geological sections along No. 0 exploration line (A) and No. 2 exploration line (B) in the Chahansala gold deposit, west Tianshan, Xinjiang

1—Quaternary alluvium; 2—Diorite; 3—Tuffaceous silicified siltstone of Upper Carboniferous Qiergusitao Formation; 4—Breccia-bearing sandy conglomerate; 5—Gold ore body; 6—Alteration boundary; 7—Attitude; 8—Sampling position; 9—Trench; 10—Drill hole

根据野外观察、矿相学鉴定和扫描电镜下分析,将内生构造-热液金矿化大致划分为 3 个阶段。早阶段形成磁铁矿-黄铁矿-磁黄铁矿-方铅矿-自然金组合,主阶段形成赤铁矿-石英-绢云母-黄铁矿-黄铜矿-自然金-银金矿-硫(碲)银金矿组合,晚阶段表现为穿插矿脉的方解石(脉)。与成矿密切相关的围岩蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化及硫化物热液蚀变和构造角砾岩化。

3 矿石中金的赋存状态

查汗萨拉金矿石扫描电镜分析表明,金以独立矿物产出,主要为自然金和银金矿,另外发现硫(碲)银金矿等矿物(图 7)和金铀化物。金矿物以粒状和长角状为主,也见浑圆状、叶片状、麦粒状金矿物(图 8)。统计表明,金矿石中粒径小于 0.01 mm 的微细粒金占 70.65%,0.037~0.01 mm 者占 29.35%,金矿物属于次显微金和显微金。矿石中 94.12% 的

金矿物赋存在黄铁矿中。金矿物多嵌布在中、粗粒黄铁矿中,主要以裂隙金(图 7、图 8A)和少量粒间金(图 8B)、包裹金(图 8C)形式存在。裂隙金占 76.47%,是含金热液沿黄铁矿、磁黄铁矿微裂隙充填交代的结果,金矿物多与石英共生(图 7)。包裹金占 17.65%,金矿物被黄铁矿和磁黄铁矿等载金矿物所包裹,呈粒状、不规则状(图 8C)。粒间金占 5.88%,见金矿物赋存在钠长石与黄铁矿晶间,呈不规则状(图 8B)。

4 矿床地球化学

本文地球化学研究样品均为采自查汗萨拉金矿区坑道、采场和钻孔岩芯中的金矿石,矿石新鲜未受风化,由于客观条件的限制,样品只能在剥露面积大的 II 矿段进行采集,以便为进一步研究该矿床提供参考。样品经表面清洗、晾干、粉碎后,选择 40~60 目单矿物进行淘洗和低温烘干,最后在实体显微镜下挑选出纯度达 99% 以上的石英、方解石和第 I 世代

① 新疆第七地质大队. 2007. 新疆乌苏市查汗萨拉金矿普查项目总体设计和 2007 年工作方案. 内部资料.

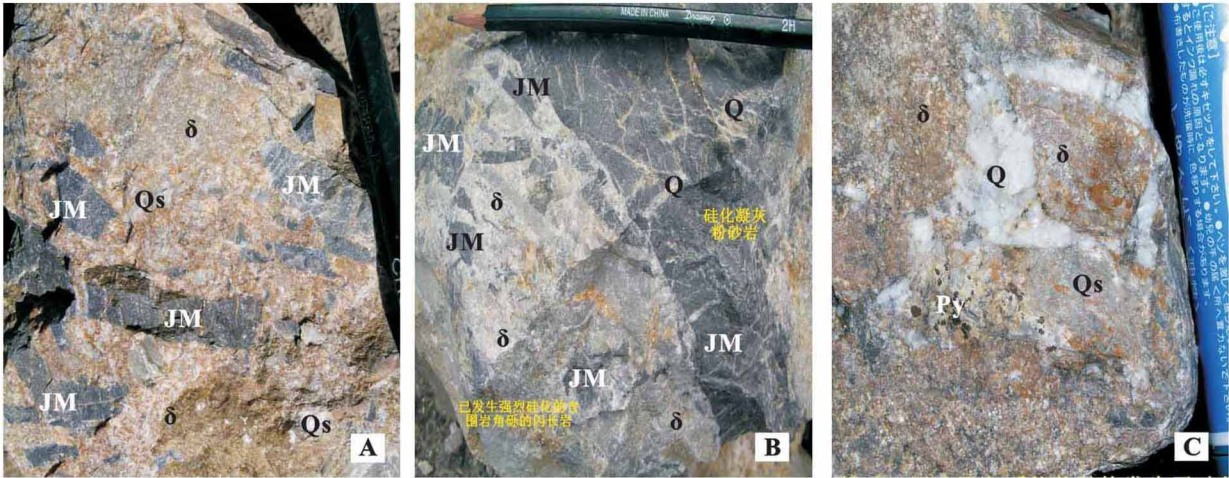


图 5 新疆西天山查汗萨拉金矿床矿石照片

A. 角砾岩化和硅化的凝灰质粉砂泥岩分布在矿化闪长岩中；B. 右部为硅化凝灰粉砂岩，其间有多条含金石英脉侵入，左下为强烈硅化的含围岩角砾的闪长岩，呈侵入交代关系；C. 含围岩角砾的细晶闪长岩二次构造碎裂并被含金热液石英细网脉胶结形成的富金矿石，角砾以闪长岩为主，少量凝灰质粉砂岩，面型硅化、赤铁矿化、绢云母化和斑杂状分布的自形晶黄铁矿化明显。岩石矿物代号：δ—硅化、赤铁矿化、绢云母化、金矿化细晶闪长岩；Q—含金石英细网脉；JM—角岩化和硅化的凝灰质粉砂泥岩；Py—斑杂状构造自形晶结构的黄铁矿；Qs—硅化凝灰质粉砂岩

Fig. 5 Ore photos of the Chahansala gold deposit, west Tianshan, Xinjiang

A. Brecciated and silicified tuffaceous silty mudstone distributed in mineralized diorite; B. Right: Silicified tuffaceous siltstone, with the intrusion of quite a few auriferous quartz veins; Lower left: Strongly silicified diorite containing wall rock breccia, assuming intrusive metasomatic relationship; C. Gold-rich ore formed by second structural shattering of wall rock breccia-bearing aplitic diorite and cementation of auriferous hydrothermal quartz veinlets, braccia dominated by diorite together with small amounts of tuffaceous siltstone, with obvious planar silicification, hematitization, sericitization and taxitic euhedral crystal pyrite. δ—Silicified, hematitized, sericitized and gold-mineralized aplitic diorite; Q—Auriferous quartz veinlet; JM—Brecciated and silicified tuffaceous silty mudstone; Py—Taxitic euhedral crystal pyrite; Qs—Silicified tuffaceous siltstone

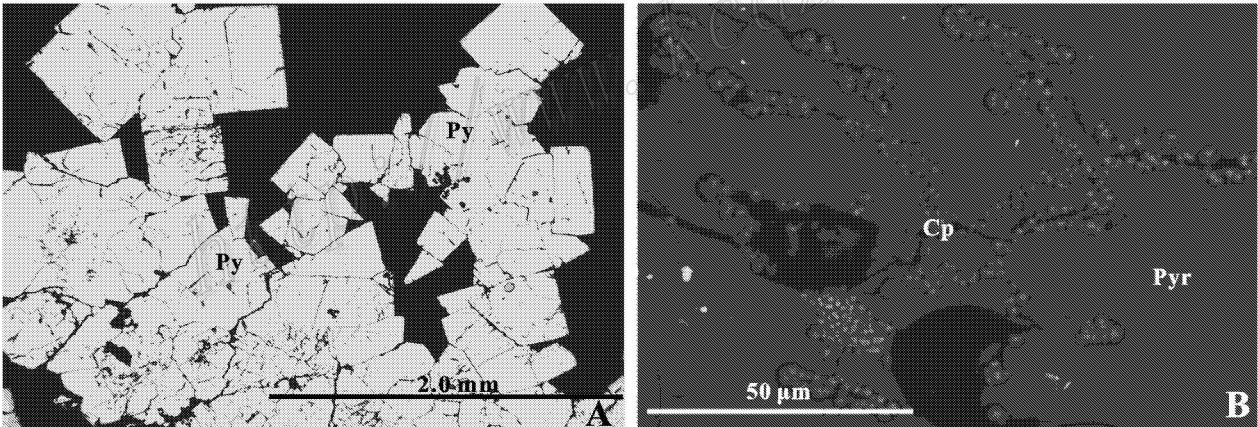


图 6 查汗萨拉金矿石中的黄铁矿立方体自形晶结构(A)和黄铜矿沿磁黄铁矿微裂隙的交代结构(B)

Py—黄铁矿；Cp—黄铜矿；Pyr—磁黄铁矿

Fig. 6 Cubic idiomorphic texture of pyrite (A) (under microscopy) and metasomatic relict texture of chalcopyrite distributed in tiny fractures of pyrrhotite (B) (under SEM) in the Chahansala gold deposit

Py—Pyrite; Cp—Chalcopyrite; Pyr—Pyrrhotite

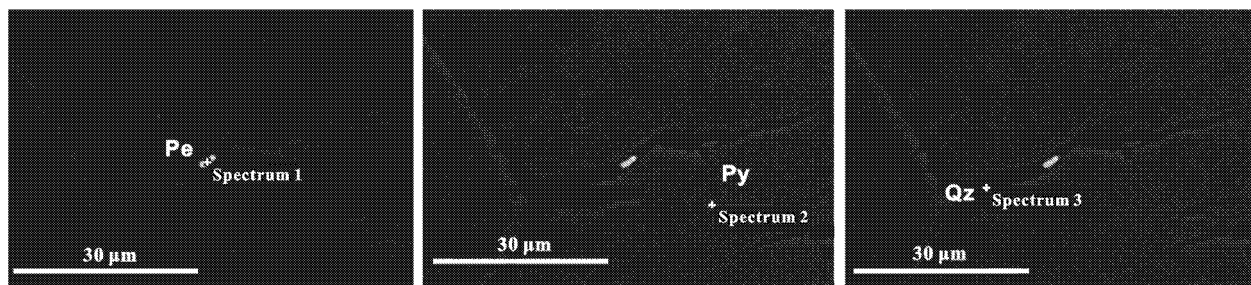


图 7 查汗萨拉金矿中的硫(碲)银金矿(S3400N II 型扫描电子显微镜观测)

Py—黄铁矿; Pe—硫(碲)银金矿; Qz—石英

Fig. 7 Gold-sulfide(Te) minerals under SEM in the Chahansala gold deposit

Py—Pyrite; Pe—S-Te goldargentid; Qz—Quartz

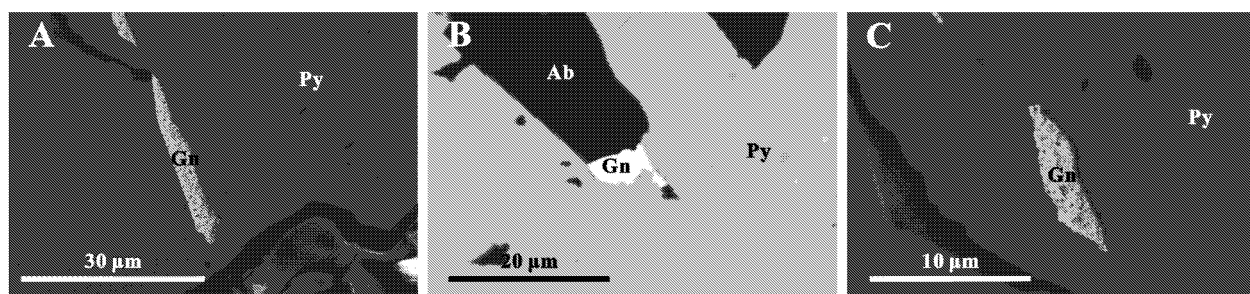


图 8 查汗萨拉金矿中金赋存状态(S3400N II 型扫描电子显微镜观测)

A. 裂隙金; B. 粒间金; C. 包裹金; Py—黄铁矿; Gn—自然金; Ab—钠长石

Fig. 8 Mode of occurrence of gold under SEM in the Chahansala gold deposit

A. Fracture gold; B. Intergranular gold; C. Encapsulated gold; Py—Pyrite; Gn—Native gold; Ab—Albite

黄铁矿单矿物样品, 以备氢、氧、碳、硫、铅同位素分析。

#### 4.1 氢、氧、碳同位素组成

在国土资源部同位素地质开放研究实验室对矿石中的石英单矿物样品进行了氢、氧同位素组成分析。氢同位素分析针对石英中的流体包裹体, 首先在 150℃ 真空条件下去气 4 h 以上, 除去矿物中的吸附水和次生流体包裹体; 在 200~350℃ 下采用加热爆破法提取原生流体包裹体中的  $H_2O$ , 并在 400℃ 条件下与 Zn 反应 30 min 制取  $H_2$ ; 最后在 MAT-251EM 质谱仪上测定同位素比值。 $\delta D$  以 SMOW 为标准计算, 精度  $\pm 2\%$ 。氧同位素分析针对石英矿物, 用  $BrF_5$  和石英样品在 500℃ 真空中反应提取矿物氧, 并与灼热石墨棒燃烧转化成  $CO_2$  气体, 在 MAT-253 质谱仪上分析氧同位素组成;  $\delta^{18}O$  以 SMOW 为标准计算, 精度为  $\pm 0.2\%$ ; 与石英平衡的流体中水的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  值依据  $1000 \ln \alpha_{石英-水} = 3.38 \times 10^6 / T^2 - 3.4$  (郑永飞等, 2000) 计算 ( $t = 270^\circ C$ , 取所测包裹体均一温度的平均值)。石英及相关成矿流体中水的氢、氧同位素组成见表 1。

矿石中矿化晚期方解石样品的碳、氧同位素组成分析在地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。分析采用 IRMS (Isoprime) 仪,  $\delta^{18}C$  和  $\delta^{18}O$  分别以 PDB 和 SMOW 为标准计算, 精度均为  $\pm 0.2\%$ 。分析结果见表 1。

在测定的 5 件金主矿化期矿石样品中, 石英包裹体的  $\delta D$  值为  $-92\% \sim -74\%$ , 石英平衡流体中水的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  为  $11.8\% \sim 12.6\%$ 。金矿成矿流体中水的氢、氧同位素组成明显偏离大气降水, 接近岩浆水和变质水(图 9), 可能指示成流体来源于变质建造水和岩浆水的混合。

碳酸盐样品采自矿化晚阶段穿切石英闪长岩的不含硫化物方解石脉中, 样品的  $\delta^{18}C_{V-PDB}$  为  $-8.92\% \sim -8.06\%$  (平均  $-8.53\%$ ),  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  为  $13.45\% \sim 17.18\%$  (平均  $14.83\%$ )。戴金星等(1994)统计发现  $CO_2$  的  $\delta^{13}C < -10\%$  时, 指示碳源于有机成因的  $CO_2$ ,  $\delta^{13}C > -8\%$  时, 碳源于无机成因的  $CO_2$ ; Faur(1986)研究认为幔源碳的  $\delta^{13}C_{V-PDB} = -7\%$ , 查汗萨拉金矿石中方解石的  $\delta^{18}C_{V-PDB}$  为  $-8.92\% \sim -8.06\%$ , 与其幔源碳范围相当接近。地质流体中  $CO_2$  大致有 3 个源区, 即海相碳酸盐岩溶解和去碳酸作用、有机质脱羟基和氧化作用以及地幔去气和岩浆结晶分异作用, 不同源区  $CO_2$  的碳、氧同位素具有不同的分馏趋势(图 10); 查汗萨拉金矿石中方解石的碳、氧同位素变化范围较窄, 数值相对远离海相碳酸盐岩溶解和去碳酸作用、有机质的脱羟基和氧化作用所能引起的碳、氧同位素分馏演化区, 而较接近花岗岩低温蚀变所能引起的碳、氧同位素分馏演化区(图 10)。这与该区上古生界中没有碳酸盐岩地层的事实相吻合, 也与本地区地层中有机物不

表 1 新疆西天山查汗萨拉金矿碳、氢、氧同位素组成

| Table 1 Carbon , hydrogen , oxygen isotopic compositions of the Chahansala gold deposit , west Tianshan , Xinjiang |          |         |                                               |                                                |                                                     |                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 样品号                                                                                                                | 样品位置     | 样品性质    | $\delta^{18}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$ | $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$ |
| 07C-4                                                                                                              | Ⅱ 矿段中部   | 矿石中的脉石英 |                                               | 20.7                                           | 12.6                                                | -82                                            |
| 07C-10                                                                                                             | Ⅱ 矿段中部   | 矿石中的脉石英 |                                               | 20.5                                           | 12.4                                                | -90                                            |
| 07C-22                                                                                                             | Ⅱ 矿段下部采场 | 矿石中的脉石英 |                                               | 20.3                                           | 12.2                                                | -92                                            |
| 07C-23                                                                                                             | Ⅱ 矿段下部采场 | 矿石中的脉石英 |                                               | 20.4                                           | 12.3                                                | -87                                            |
| 07C-25                                                                                                             | Ⅱ 矿段东端   | 矿石中的脉石英 |                                               | 19.9                                           | 11.8                                                | -74                                            |
| 07C-11                                                                                                             | Ⅱ 矿段下部采场 | 矿化晚期方解石 | -8.06                                         | 14.56                                          |                                                     |                                                |
| 07C-12                                                                                                             | Ⅱ 矿段下部采场 | 矿化晚期方解石 | -8.90                                         | 14.66                                          |                                                     |                                                |
| 07C-13                                                                                                             | Ⅱ 矿段下部采场 | 矿化晚期方解石 | -8.73                                         | 17.18                                          |                                                     |                                                |
| 07C-15                                                                                                             | Ⅱ 矿段下部采场 | 矿化晚期方解石 | -8.06                                         | 14.29                                          |                                                     |                                                |
| 07C-16                                                                                                             | Ⅱ 矿段下部采场 | 矿化晚期方解石 | -8.92                                         | 13.45                                          |                                                     |                                                |

注  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  依据  $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 / T^2 - 3.4$  计算得到 ( $t = 270^\circ\text{C}$ ) ;石英样品在国土资源部同位素地质开放研究实验室分析 ;方解石样品在地质过程与矿产资源国家重点实验室分析。

表 2 查汗萨拉金矿石硫同位素组成

| Table 2 Sulfur isotopic compositions of gold ores in the Chahansala ore deposit |          |           |      |                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|------|-----------------------------------------------|
| 样品号                                                                             | 样品位置     | 样品性质      | 测定矿物 | $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}/\text{‰}$ |
| 07C-17                                                                          | Ⅱ 矿段下部采场 | 硅化黄铁矿化金矿石 | 黄铁矿  | -7.3                                          |
| 07C-18                                                                          | Ⅱ 矿段下部采场 | 硅化黄铁矿化金矿石 | 黄铁矿  | -8.5                                          |
| 07C-20                                                                          | Ⅱ 矿段下部采场 | 硅化黄铁矿化金矿石 | 黄铁矿  | -7.3                                          |
| 07C-22                                                                          | Ⅱ 矿段下部采场 | 硅化黄铁矿化金矿石 | 黄铁矿  | -8.5                                          |
| 07C-26                                                                          | Ⅱ 矿段下部采场 | 硅化黄铁矿化金矿石 | 黄铁矿  | -9.8                                          |

注 国土资源部同位素地质开放研究实验室分析。

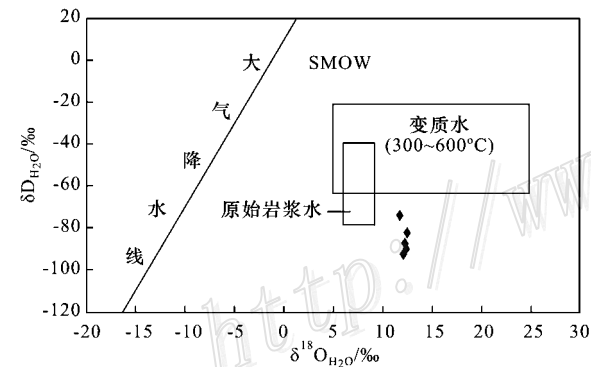


图 9 查汗萨拉金矿成矿流体  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  图解

Fig. 9 Plot of  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  versus  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  values of fluid inclusions in the Chahansala gold deposit

明显的客观现象彼此响应,而矿区闪长岩发生以硅化为主、低温蚀变并伴随金矿化的事实在很大程度上说明成矿流体中的含金  $\text{CO}_2$  流体来自岩浆热液。查汗萨拉金矿石中低温热液方解石属于从无机成因含  $\text{CO}_2$  流体中晶出的方解石,该流体可能为岩浆来源热液。

4.2 硫同位素组成

矿石中黄铁矿的硫同位素组成分析在国土资源部同位

素地质开放研究实验室完成,将黄铁矿样品粉碎到 200 目,以氧化铜和五氧化二钒作为混合氧化剂,在高温真空条件下与黄铁矿样品反应,以将 S 氧化成  $\text{SO}_2$ ;硫同位素分析利用 MAT-253 质谱仪进行,采用 V-CDT 标准计算,  $\delta^{34}\text{S}$  误差为  $\pm 0.2\text{‰}$ ,分析结果见表 2。主矿体中 5 件黄铁矿样品的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$  为  $-9.8\text{‰} \sim -7.3\text{‰}$ ,比较集中(平均  $-8.28\text{‰}$ ),明显亏损  $^{34}\text{S}$ 。

矿石中含硫矿物主要是黄铁矿和少量磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等,不含重晶石等硫酸盐矿物,成矿环境为低氧逸度、弱酸性、还原环境,因此,热液黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  应与当时整个流体的  $\delta^{34}\text{S}$  值相近(Ohmoto 等,1997)。研究表明地幔源或幔源岩浆起源的硫的  $\delta^{34}\text{S}$  值接近于 0,沉积地层中硫酸盐还原硫化氢的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化范围很大( $-50\text{‰} \sim 50\text{‰}$ )。与查汗萨拉金矿同处于依连哈比尔尕构造带中的望峰金矿中硫同位素平均值为  $8.6\text{‰}$ ,被解释为地层来源硫(吴锡丹等,1999),萨日达拉金矿石中的  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $-4.8\text{‰} \sim 17.3\text{‰}$ ,硫被认为是深源与地壳浅部硫的混合(王居里等,2001)。查汗萨拉金矿石中黄铁矿样品的  $\delta^{34}\text{S}$  变化于  $-9.8\text{‰} \sim -7.3\text{‰}$ ,硫来源于深部岩浆的可能性不大,很可能指示硫的来源与古生代地层有关。研究区古生代地层主要为凝灰质粉砂岩,膏岩类矿物含量有限,这与矿石中硫化物含量低的事实是吻合的。

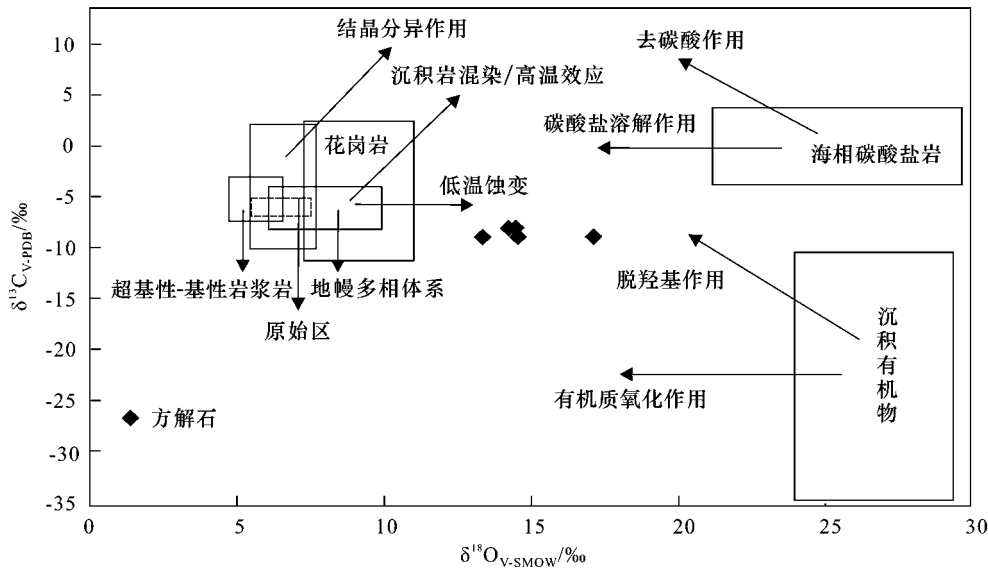


图 10 查汗萨拉金矿床晚阶段方解石  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$  图解(底图据刘建明等,1998;毛景文等,2002 资料修改)  
Fig. 10  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta^{13}\text{C}$  diagram of calcite in the Chahansala gold deposit (map base after Liu et al. 1998 ; Mao et al. , 2002 )

4.3 铅同位素组成

矿石中黄铁矿的铅同位素组成分析在国土资源部同位素地质开放研究实验室完成。黄铁矿单矿物样品在玛瑙研钵中磨到<200 目,采用  $\text{HNO}_3$  浸泡去除表面附着的微量脉石矿物,然后通过阴离子交换树脂,提取 Pb,晾干后以 1%  $\text{HNO}_3$  稀释。质谱测试采用 T1 为标准进行质量分馏校正,在英国 Nu Instrument 公司生产的高分辨多接受等离子质谱仪( Nu Plasma HR )上进行分析。在测定样品之前,用 NBS981 标准校准仪器,测定过程中,随时测定 NBS981 以便监测仪器, Hg 干扰通过测定 202 扣除。

查汗萨拉金矿矿石铅同位素分析结果见表 3。矿石铅同位素组成比较均一,在  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图解上(图 11)集中分布于地幔和造山带附近的区域(Zartman et al. , 1981)。造成铅同位素如此均一的可能原因有 2 个:铅为混合来源且混合完全,或者铅为单一来源。在  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图上投点落在地幔集中区附近且具线性趋势,在  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图上也显示类似结果,主要落在地幔与造山带之间,个别落在造山带与上地壳的区

域(图 11)。推测查汗萨拉金矿石铅主要来源于上地幔或下地壳起源的闪长岩,受地壳铅混染不明显,这符合该矿床所处的大地构造背景。中泥盆世初期,板内伸展作用在新疆西天山地区普遍发生,早石炭世后期形成依连哈儿尔晚古生代弧前-海沟带(张作衡等,2006),晚石炭世末-二叠纪,西天山所有洋盆闭合,进入板块碰撞-板内伸展阶段,大量幔源花岗岩类和少量的镁铁质-超镁铁质杂岩在上地壳就位(韩宝福等,1998)。查汗萨拉金矿形成于沿张性断裂构造侵入于上石炭统围岩中的细晶闪长岩破碎带内,金矿化可能伴随岩浆晚期或期后的构造-热液活动而发生,可推测成岩和成矿时代在晚石炭世末期-二叠纪或之后,形成于造山晚期,与海西中晚期中酸性岩浆侵入密切相关。

5 推论和结论

新疆西天山查汗萨拉金矿伴随造山晚期构造-岩浆-热液作用形成,早阶段张性构造-岩浆作用和晚阶段持续的张性构造-热液作用是金矿化富集的基本地质过程。金矿体是由闪

表 3 查汗萨拉金矿矿石铅同位素组成

Table 3 Lead isotopic compositions of gold ores in the Chahansala ore deposit

| 样品号    | 产状      | 样品性质 | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|--------|---------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 07C-21 | Ⅱ矿段下部采场 | 黄铁矿  | 18.048                            | 15.540                            | 37.956                            |
| 07C-23 | Ⅱ矿段下部采场 | 黄铁矿  | 18.173                            | 15.612                            | 38.097                            |
| 07C-27 | Ⅱ矿段下部采场 | 黄铁矿  | 18.036                            | 15.555                            | 37.964                            |
| 07C-28 | Ⅱ矿段下部采场 | 黄铁矿  | 18.036                            | 15.536                            | 37.940                            |

注:样品在国土资源部同位素地质开放研究实验室分析。

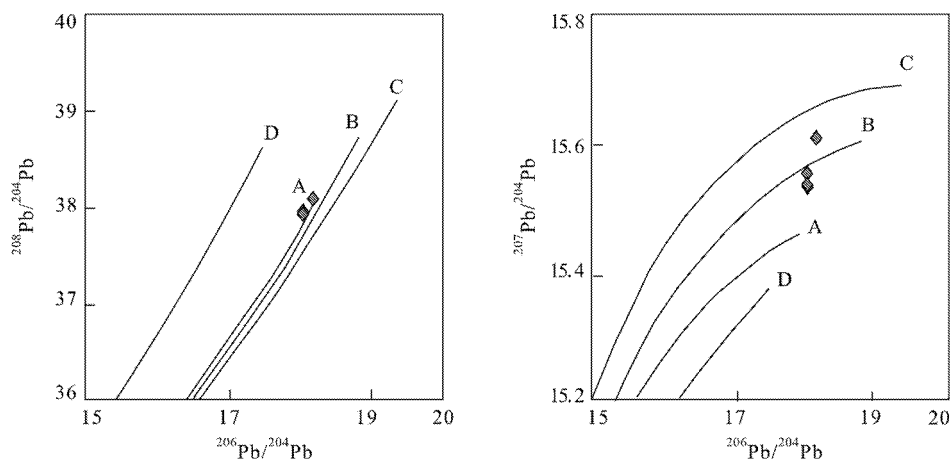


图 11 查汗萨拉金矿床铅构造模式图(底图据 Zartman et al., 1981 资料)

A—地幔; B—造山带; C—上地壳; D—下地壳

Fig. 11 Plumbotectonics model for the Chahansala gold deposit (map base after Zartman et al., 1981)

A—Mantle; B—Orogenic belt; C—Upper crust; D—Lower crust

长岩及围岩经多阶段构造角砾化、硅化和绢云母化等热液蚀变形成的交代脉体,矿石自然类型为含金构造角砾蚀变岩,硫化物含量低。

查汗萨拉金矿石中金矿物主要以自然金和银金矿等独立矿物形式赋存在黄铁矿中,以裂隙金(占 76.47%)和包裹金(占 17.65%)为主,金矿物粒度小,属于次显微金和显微金。矿石中还发现了金铀化物和硫(碲)银金矿等特殊含金矿物,值得在今后研究中关注。

氢、氧、碳、硫、铅同位素地球化学研究表明,查汗萨拉金矿化早期成矿流体显示岩浆热液和变质建造水混合特征,成矿流体中的  $\text{CO}_2$  和成矿金属具有岩浆来源特点,硫化物中硫的来源可能与地层有关。

查汗萨拉金矿应是与新疆西天山已发现的浅成低温热液型和脆-韧性剪切带型不同的一种新类型金矿,是伴随造山晚期构造热液交代形成的金矿即构造角砾蚀变岩型金矿,值得在西天山金矿勘查中关注。

## References

- Chen B W and Chen T Y. 2007. Trans-Asian tectonic mega-belt: Its principal characteristics and metallogeny [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 865-876 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Liu D Q, Tang Y L, Wang D H, Zhou R H, Wang J L, Li H Q and Wang X D. 2007. The research of strategic solid ore deposits gathered zone in Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-467 (in Chinese).
- Dai J X, Song Y, Hong F and Dai C S. 1994. Inorganic genetic carbon dioxide gas accumulations and their characteristics in east part of China [J]. *Chinese Offshore Oil & Gas (Geology)*, 8(4): 215-222 (in Chinese with English abstract).
- Faure G. 1986. Principles of isotope geology [M]. 2nd Edition. New

York: John Wiley & Sons. 589p.

- Feng J, Xue C J, Wang X G, Zhang B, Zhou C P and Luo X P. 2008. A newly discovered gold deposit Chahansala in western Tianshan, which is located at the west of Yilianhaba 'erga arc-trench belt of Later Paleozoic [J]. *Geosci.*, 22(5): 895-896 (in Chinese).
- Han B F, He G Q, Wang S G and Hong D W. 1998. Postcollisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in north Xinjiang [J]. *Geol. Rev.*, 44(4): 396-406 (in Chinese with English abstract).
- Kui H M, Wu W K and Xue C J. 1999. Metallogenic series and their formation and evolution in western Tianshan, Xinjiang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 73(3): 29-40 (in Chinese with English abstract).
- Liu J M, Liu J J, Zheng M H and Gu X X. 1998. Stable isotope compositions of micro-disseminated gold and genetic discussion [J]. *Geochimica*, 27(6): 585-591 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, He Y and Ding T P. 2002. Mantle fluids involved in metallogenesis of Jiaodong (East Shandong) gold district: Evidence of C, O and H isotopes [J]. *Mineral Deposits*, 21(2): 121-128 (in Chinese with English abstract).
- Ohmoto H and Goldhaber M B. 1997. Sulfur and carbon isotopes [A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* [C]. New York: Wiley. 517-599.
- Sha D M. 1998. The fluid inclusion of Axi gold deposit in West Tianshan mountain [J]. *J. Precious Metallic Geology*, 7(3): 180-188 (in Chinese with English abstract).
- Sha D M, Dong L H, Bao Q Z, Wang H, Hu X J, Zhang J D and Sun J P. 2003. The genetic types of gold deposits and their prospecting in West Tianshan mountain [J]. *Xinjiang Geol.*, 21(4): 419-425 (in Chinese with English abstract).
- Wang H, Xia B, Peng S L and Lai J Q. 2002. Metallogenic regularity of northernwest Tianshan: A preliminary discussion [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(4): 363-369 (in Chinese with English ab-

- stract ).
- Wang J L, Liu Y J, Zhou D W and Lu G X. 2001. Geological features and origin of Saridala gold, Xinjiang[ J ]. Mineral Deposits, 20( 4 ): 91-99( in Chinese with English abstract ).
- Wang Y B and Zhao D J. 2006. Gold deposits in Xinjiang, China[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 11-13( in Chinese ).
- Wu X D and Chen G J. 1999. Geological characteristics and metallogenetic regulation of Wangfeng gold mineralization zone in West part of Tianshan mountains[ J ]. Xinjiang Geol., 17( 1 ): 20-26( in Chinese with English abstract ).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics: The model[ J ]. Tectonophysics, 75: 135-162.
- Zhang L C and Liu D Q. 2006. The ore-forming regularity of predominant metal deposits in Xinjiang, China[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 116-150( in Chinese ).
- Zhang Z H, Mao J W, Wang Z L, Du A D, Zuo G C, Wang L S, Wang J W and Qu W J. 2006. Geology and metallogenetic epoch of the Dabate porphyry copper deposit in west Tianshan mountains, Xinjiang[ J ]. Geol. Rev., 52( 5 ): 683-689( in Chinese with English abstract ).
- Zheng Y F and Chen J F. 2000. Stable isotope geochemistry[ M ]. Beijing: Sci. Press. 218-235( in Chinese ).
- Zhu Z X, Wang K Z, Xu D, Su Y L and Wu Y M. 2006. SHRIMP U-Pb dating of zircons from Carboniferous intrusive rocks on the active continental margin of Eren Habirga, west Tianshan, Xinjiang, China, and its geological implications[ J ]. Geol. Bull. China, 25( 8 ): 986-991( in Chinese with English abstract ).
- 戴金星, 宋岩, 洪峰, 戴春森. 1994. 中国东部无机成因的二氧化碳气藏及其特征[ J ]. 中国海上油气( 地质 ), 8( 4 ): 215-222.
- 冯京, 薛春纪, 王晓刚, 张兵, 周昌平, 罗小平. 2008. 新疆西天山依连哈比尔尕西段新发现查汗萨拉金矿[ J ]. 现代地质, 22( 5 ): 895-896.
- 韩宝福, 何国琦, 王式洸, 洪大卫. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长[ J ]. 地质论评, 44( 4 ): 396-406.
- 隗合明, 吴文奎, 薛春纪. 1999. 新疆西天山金属矿床成矿系列和形成演化规律[ J ]. 地质学报, 73( 3 ): 29-40.
- 刘建明, 刘家军, 郑明华, 顾雪祥. 1998. 微细浸染型金矿床的稳定同位素特征与成因探讨[ J ]. 地球化学, 27( 6 ): 585-591.
- 毛景文, 赫英, 丁梯平. 2002. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氢氧同位素证据[ J ]. 矿床地质, 21( 2 ): 121-128.
- 沙德铭. 1998. 西天山阿希金矿流体包裹体研究[ J ]. 贵金属地质, 7( 3 ): 180-188.
- 沙德铭, 董连慧, 鲍庆中, 王宏, 胡秀军, 张建东, 孙加鹏. 2003. 西天山地区金矿床主要成因类型及找矿方向[ J ]. 新疆地质, 21( 4 ): 419-425.
- 王核, 夏斌, 彭省临, 赖健清. 2002. 西天山北部地区成矿规律初探[ J ]. 大地构造与成矿学, 26( 4 ): 363-369.
- 王居里, 刘养杰, 周鼎武, 陆关祥. 2001. 新疆萨日达拉金矿地质特征及成因探讨[ J ]. 矿床地质, 20( 4 ): 91-99.
- 王有标, 赵殿甲. 2006. 中国新疆金矿床[ M ]. 北京: 地质出版社. 11-136.
- 吴锡丹, 陈光进. 1999. 望峰金矿带地质特征及成矿规律[ J ]. 新疆地质, 17( 1 ): 20-26.
- 张良臣, 刘德权. 2006. 中国新疆优势金属矿产成矿规律[ M ]. 北京: 地质出版社. 116-150.
- 张作衡, 毛景文, 王志良, 杜安道, 左国朝, 王龙生, 王见荏, 屈文俊. 2006. 新疆西天山达巴特铜矿床地质特征和成矿时代研究[ J ]. 地质论评, 52( 5 ): 683-689.
- 郑永飞, 陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学[ M ]. 北京: 科学出版社. 193-313.
- 朱志新, 王克卓, 徐达, 苏延龙, 吴玉门. 2006. 依连哈比尔尕山石炭纪侵入岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[ J ]. 地质通报, 25( 8 ): 986-991.

## 附中文参考文献

- 陈炳蔚, 陈廷愚. 2007. 横贯亚洲巨型构造带的基本特征和成矿作用[ J ]. 岩石学报, 23( 5 ): 865-876.
- 陈毓川, 刘德权, 唐延龄, 王登红, 周汝洪, 王金良, 李华芹, 王晓地. 2007. 中国新疆战略性固体矿产大型矿集区研究[ M ]. 北京: 地质出版社. 1-467.